

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
29. April 2004 (29.04.2004)

PCT

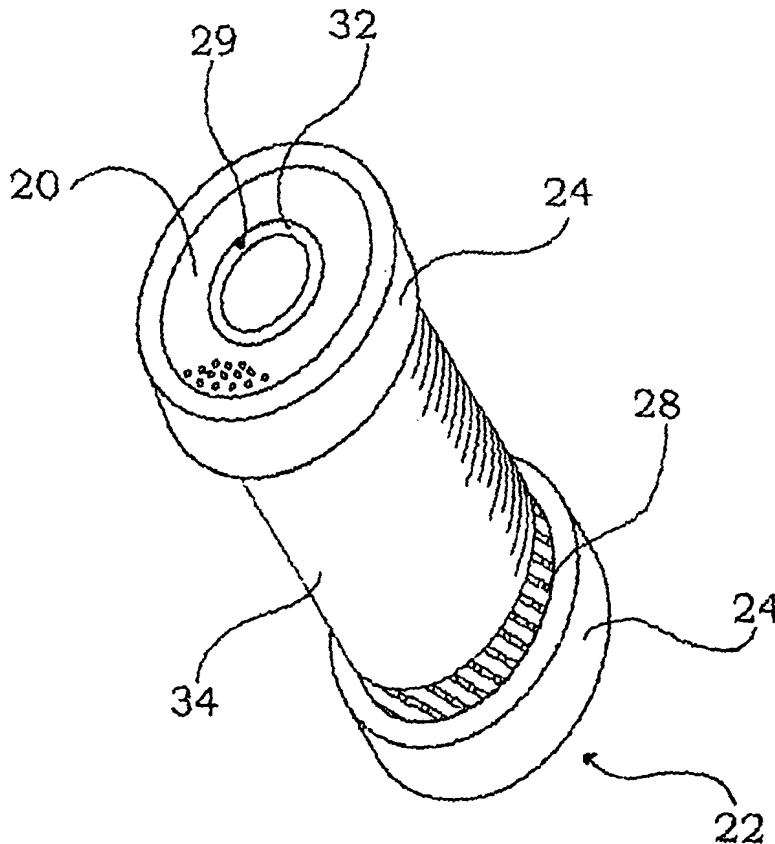
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/035181 A1**

- |   |                                |   |
|---|--------------------------------|---|
| (51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> :<br>53/26, 53/22 | B01D 63/02,                    | (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): <b>BEKO TECHNOLOGIES GMBH</b> [DE/DE];<br>Im Taubental 7, 41468 Neuss (DE).  |
| (21) Internationales Aktenzeichen:                                      | PCT/DE2003/003374              |   |
| (22) Internationales Anmeldedatum:                                      | 9. Oktober 2003 (09.10.2003)   | (72) Erfinder; und  |
| (25) Einreichungssprache:   | Deutsch                        | (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): <b>KOCH, Berthold</b> [DE/DE]; Pützstrasse 4, 41468 Neuss (DE). <b>MÜLLER, Markus</b> [DE/US]; 62812 Emily Court, Bend, OR 97701 (US). <b>SCHLENSKER, Herbert</b> [DE/DE]; Grundermühlweg 24, 51482 Leverkusen (DE). |
| (26) Veröffentlichungssprache:  | Deutsch                        |   |
| (30) Angaben zur Priorität:   |                                | (74) Anwälte: <b>BAUER, Wulf</b> usw.; Lindentallee 43, 50968 Köln (DE).  |
| 102 48 139.3  | 16. Oktober 2002 (16.10.2002)  | DE  |
| 102 59 661.1  | 18. Dezember 2002 (18.12.2002) | DE  |

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: HOLLOW FIBRE MODULE

(54) Bezeichnung: HOHLFASER-MODUL



(57) Abstract: The invention relates to a hollow fibre separation module comprising an inlet (20) for the gas to be dried, an outlet (22) for dried gas, an access element (26) and a discharge element (28) for circulation gas, and a plurality of hollow fibres which respectively extend from the inlet (29) to the outlet (22) and comprise an inner region which communicates with the inlet (20) on one end of each hollow fibre, and with the outlet (22) on the other end of each hollow fibre. Said hollow fibres are wound up in a plurality of layers (40, 42, 44) to form a hollow cylindrical winding. Each layer (40, 42, 44) is inwardly defined by an imaginary cylinder (35, 36, 37) and has a number of hollow fibres which are wound onto said cylinder (35, 36, 37) in a helical manner with an alpha angle of inclination, are located at a distance  $\alpha$  from each other, and are arranged on the cylinder in a homogeneously distributed manner. A layer (40) differs from an adjacent layer (e.g. 42) in that the fibres of one of the layers all form a plus alpha winding angle, whereas the fibres of the adjacent layers all form a minus alpha winding angle.

(57) Zusammenfassung: Das Hohlfa-  
ser-Fluid-Separationsmodul hat einen  
Einlass (20) für zu trocknendes Gas, mit  
einem Auslass (22) für getrocknetes Gas,  
einen Zugang (26) und einen Abgang (28)

für Spülgas, und eine Vielzahl von Hohlfasern, die sich jeweils vom Einlass (29) zum Auslass (22)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/035181 A1



(81) Bestimmungsstaaten (*national*): DE, JP, US.

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

erstrecken und einen Faserinnenraum aufweisen, der an einem Ende jeder Hohlfaser mit dem Einlass (20) kommuniziert. Die und am anderen Ende jeder Hohlfaser mit dem Auslass (22) kommuniziert. Die Hohlfasern sind in mehreren Lagen (40, 42, 44) zu einer hohlzylindrischen Wicklung aufgewickelt. Jede Lage (40, 42, 44) ist nach innen hin durch einen gedachten Zylinder (35, 36, 37) begrenzt und hat eine Anzahl von schraubenlinienförmig mit einem Steigungswinkel  $\alpha$  auf diesen Zylinder (35, 36, 37) aufgewickelten Hohlfasern, die sich im Abstand  $a$  voneinander befinden und die gleichverteilt auf dem Zylinder angeordnet sind. Eine Lage (40) unterscheidet sich von einer benachbarten Lage (z.B. 42) dadurch, dass die Fasern der einen Lage alle den Wickelwinkel  $\text{plus } \alpha$  aufweisen, während die Fasern der benachbarten Lage alle den Wickelwinkel  $\text{minus } \alpha$  haben.

**Bezeichnung: Hohlfaser-Modul**

Die Erfindung bezieht sich auf ein Hohlfaser-Fluid-Separationsmodul für gasförmige- oder flüssige Fluide mit einem Einlass für einen Zulaufstrom, mit einem Auslass für einen Auslaufstrom, mit einem Zugang für einen Permeatstrom, mit einem Abgang für den Permeatstrom, mit einer Modulachse und mit einer Vielzahl von Hohlfasern, die sich jeweils vom Einlass zum Auslass erstrecken und einen Faserinnenraum aufweisen, der an einem Ende jeder Hohlfaser mit dem Einlass kommuniziert und am anderen Ende jeder Hohlfaser mit dem Auslass kommuniziert. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf ein Hohlfaser-Trocknermodul, dem als Zulaufstrom ein zu trocknendes Gas zugeleitet wird, bei dem der Auslaufstrom getrocknetes Gas ist und bei dem der Permeatstrom von einem Spülgas gebildet wird. Das Hohlfaser-Fluid-Separationsmodul kann auch umgekehrt betrieben werden, indem der Permeatstrom durch die Innenräume der Hohlfaser strömt und Einlass sowie Auslass mit den Außenflächen der Hohlfasern kommunizieren.

Aus US 3,794,468 A ist ein Hohlfaser-Trocknermodul bekannt, bei dem die Hohlfasern auf ein poröses Rohr schräg zur Modulachse und gradlinig aufgebracht werden. In einer Radialebene sind die einzelnen Fasern einer jeden Lage zwischen 2° und 10° gegeneinander versetzt. Die Fasern einer Lage sind alle parallel zueinander und kreuzen sich mit den Hohlfasern einer benachbarten Lage. Die einzelnen Hohlfasern umschlingen den Wickelkörper nicht mit mindestens einer Windung, vielmehr sind sie zwischen Stirnflächen eines Wickelkörpers aufgespannt.

Aus US 5,837,033 A ist ein Hohlfaser-Fluid-Separationsmodul bekannt, das auch als Trocknermodul eingesetzt werden kann. Der Wickelwinkel der einzelnen Fasern wird über die axiale Länge geändert.

Aus US 5,702,601 sind Hohlfaser-Trocknermodule bekannt, bei denen die Hohlfasern schraubenlinienförmig auf einen Wicklungsträger aufgewickelt

werden, zwischen den Hohlfasern besteht kein Abstand. Es werden Verstärkungsfäden eingesetzt, die ebenfalls mit aufgewickelt werden.

Hohlfaser-Fluid-Separationsmodule, insbesondere Hohlfaser-Trocknermodule, wie sie derzeit im wesentlichen auf dem Markt angeboten werden, haben eine Vielzahl von parallelen Hohlfasern zwischen Einlass und Auslass, die mehr oder weniger regelmäßig angeordnet geradlinig verlaufen. Bei derartigen Trocknermodulen ist die lokale Dichte der Hohlfasern nicht konstant, es ergeben sich lokal dichtere und weniger dichte Packungen. Es werden zwar günstige Bedingungen für das zu trocknende Gas erreicht, das axial einströmt und ausströmt und vom Einlass im wesentlichen geradlinig zum Auslass strömt, für Spülgas ist eine homogene Umströmung möglichst aller Aussenflächen der Hohlfasern aber schwierig zu erreichen. Zudem ist es für das Spülgas schwierig, sich in einer radialen Richtung innerhalb des Moduls gleichmäßig zu verteilen.

Bei den Hohlfaser-Fluid-Separationsmodulen nach den eingangs genannten Dokumenten sind die Module aus regelmäßig angeordneten Hohlfasern aufgebaut, dadurch werden lokal dichtere Anordnungen oder weniger dichte Anordnungen vermieden und es wird eine gleichmässige Umströmung der Aussenwand der Hohlfasern durch das Spülgas möglich. Nicht erreicht wird jedoch eine besonders günstige Konfiguration für Hohlfasermodule, insbesondere Trocknermodule. Bei den Modulen nach dem Stand der Technik verlaufen die Hohlfasern im wesentlichen in Axialrichtung. Gewünscht werden Module, bei denen die Länge der einzelnen Hohlfasern zumindest 1,5 mal, insbesondere drei mal so groß ist wie die axiale Länge. Dennoch sollen diese Module eine ausreichend stabile Wicklung haben, es soll also sichergestellt sein, dass die einzelnen Hohlfasern sich nicht merklich gegeneinander verschieben können. Eine Verschiebung gegeneinander ist bei den Modulen nach dem Stand der Technik dadurch praktisch ausgeschlossen, dass die Hohlfaser im wesentlichen zwischen den Stirnflächen der Wickelkörper geradlinig aufgespannt sind, also im Grunde nicht aufgewickelt sind.

Ausgehend von den bekannten Hohlfasermodulen, insbesondere Hohlfaser-Trocknermodulen hat es sich die Erfindung zur Aufgabe gemacht, ein Modul anzugeben, bei dem eine stabile Wicklung erreicht wird, eine große Länge Hohlfasern bei kurzer axialer Baulänge des Moduls untergebracht werden kann und ein günstiges Verhältnis zwischen dem Gesamtvolumen der Innenräume aller Hohlfasern und dem Außenraum um die Hohlfasern herum erreichbar ist.

Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Hohlfasermodule-Fluid-Separationsmodul mit einem Einlass für einen Zulaufstrom, mit einem Auslass für einen Auslaufstrom, mit einem Zugang für einen Permeatstrom, mit einem Abgang für den Permeatstrom mit einer Modulachse und mit einer Vielzahl von Hohlfasern, die sich jeweils vom Einlass zum Auslass erstrecken und einen Faserinnenraum aufweisen, der an einem Ende jeder Hohlfaser mit dem Einlass kommuniziert und am anderen Ende jeder Hohlfaser mit dem Auslass kommuniziert, wobei die Hohlfasern in mehreren Lagen zu einer hohlzylindrischen Wicklung aufgewickelt sind, jede Lage nach innen hin durch einen gedachten Zylinder begrenzt ist, eine Anzahl von schraubenlinienförmig mit einem Steigungswinkel  $\alpha$  auf diesen Zylinder aufgewickelten Hohlfasern hat, die sich im lichten Abstand  $a$  voneinander befinden und gleich verteilt auf dem Zylinder angeordnet sind und sich eine Lage von einer benachbarten Lage dadurch unterscheidet, dass die Fasern der einen Lage alle den Wickelwinkel  $\alpha$  aufweisen, während die Fasern der benachbarten Lage alle den Wickelwinkel  $\alpha + 180^\circ$  haben, jede Faser den ihr zugehörigen Zylinder mindestens einmal um  $360^\circ$  umschlingt und jede Faser beim Wickelvorgang mit einer Zugspannung aufgebracht ist, die so groß bemessen ist, dass sie einen möglichst guten reibschlüssigen Halt auf den unter ihr befindlichen, kreuzenden Fasern hat und die so klein bemessen ist, dass an den Kreuzungspunkten die Hohlfasern zwar deformiert werden, der freie Innenquerschnitt der Hohlfaser aber nicht merklich eingeschränkt wird und alle Hohlfasern mit derselben Zugspannung aufgebracht sind.

Erfindungsgemäss wird eine Optimierung der spülluftseitigen, also permeatseitigen Umströmung des Membranfaserbündels erzielt. Die einzelnen Hohlfasermembranen können erfindungsgemäss so zueinander angeordnet werden, dass das Modul einen möglichst hohen Wirkungsgrad in der Nutzung der Durchlässigkeit für Wasserdampf der Membranfläche auf der Innenwand der Hohlfasern und in der Kapazität für die Aufnahme von Wasserdampf des Spülgases erreicht. Ein möglichst hoher Wirkungsgrad wird bei optimaler Führung des Permeatstroms um die Außenwände der Membranfasern erzielt. Hierfür muss die Strömung des Spülgases optimiert werden. Dies muss in Bezug auf die Kanalgeometrie und die Geschwindigkeit erfolgen. All dies ermöglicht die Erfindung. Sie ermöglicht eine gleichmässige Verteilung des Spülgases in radialer Richtung in einer beliebigen Radialebene entlang der Modulachse und eine gute axiale Durchströmung. Die Aussenflächen der Membranfasern werden günstig umspült. Durch Ändern des Abstandes  $a$  und auch durch Ändern des Wicklungswinkels  $\alpha$  kann das Modul für jeweilige Einsatzzwecke optimiert werden. Schließlich kann auch die Abmessung der Hohlfaser variiert werden, also sowohl der Innendurchmesser als auch der Außendurchmesser, dies kann auch für jede Lage einzeln erfolgen. Vorzugsweise werden jedoch baugleiche Hohlfasern für ein Modul verwendet.

Insbesondere erreicht die Erfindung eine besonders stabile Wicklung der Membranfasern. Da die Membranfasern den gedachten Zylinder mindestens ein Mal umschlingen, ist die Gefahr von Verschiebungen von Membranfasern gegeben, beispielsweise können die Membranfasern durch mechanische Einflüsse sich verschieben. Dadurch verliert die Wicklung ihre Ordnung. Die Umströmung ist dann nicht mehr so gleichmässig, wie dies durch die Wickeltechnik anfänglich erreicht ist. Hier bietet die Erfindung nun dadurch eine Lösung, dass die Hohlfaser mit einer ausreichenden Zugspannung aufgewickelt sind. Die Zugspannung, mit der die Hohlfasern beim Wickelvorgang aufgebracht werden, ist so ausreichend groß, dass ein reibschlüssiger Halt einer aufgewickelten Faser auf die darunter liegenden Fasern erreicht wird.

Mechanische Belastungen können nicht zu einer merklichen Verschiebung der Hohlfaser führen. Die Zugspannung ist andererseits so klein bemessen, dass an den Kreuzungspunkten einer neu aufgewickelten Faser mit darunter befindlichen Fasern der freie Innenquerschnitt der Faser nicht merklich eingeschränkt wird. An den Kreuzungspunkten werden die Hohlfasern geringfügig eingedrückt. Dies führt zu einer stabilen Wicklung. Es tritt auch ein geringfügiger Formschluss auf.

Die Angaben für die Wickelspannung gelten insbesondere für die Hohlfasern ab der zweiten Lage. Diese Hohlfasern liegen nicht mehr, und insoweit besteht ein Gegensatz zur ersten Lage, kontinuierlich an einem Zylinder an, sondern im wesentlichen nur noch punktwise auf den Hohlfasern der darunter befindlichen Lage auf, welche sie kreuzen. Die Hohlfasern ab der zweiten Lage liegen daher im wesentlichen nur noch punktförmig auf. An den Auflagepunkten auf den Hohlfasern der darunter befindlichen Lage, welche sie kreuzen, finden geringfügige Einprägungen statt. Die Hohlfasern ab der zweiten Lage liegen im wesentlichen nur punktförmig auf. An den Auflagepunkten auf den Hohlfasern der darunter befindlichen Lage stützt sich die gesamte Wirkung der Faserspannung ab, es kommt zu kleinen Verformungen der Hohlfaser. Diese Verformungen sollen nun nicht so entscheidend sein, dass der freie Innenquerschnitt merklich beeinflusst wird, also störende Engstellen geschaffen werden.

Durch die an sich bekannte Wicklungstechnik (siehe US-5,299,749) mit abwechselnden Lagen in positivem Wicklungswinkel (S-Richtung) und in negativem Wicklungswinkel (Z-Richtung) wird eine stabile Wicklung erreicht. Die Faserspannung wird so eingestellt, dass die Belastung der Hohlfasern an den Berührungspunkten mit benachbarten Lagen in vertretbaren Grenzen gehalten ist. Aufgrund des Abstandes zwischen benachbarten Hohlfasern einer Lage werden schraubenlinienförmig verlaufende Kanäle für den Permeatstrom, insbesondere Spülgas, geschaffen. Sie stehen in Verbindung mit entsprechenden, schraubenlinienförmig verlaufenden Kanälen der unmittel-

bar benachbarten Lagen. Damit wird eine axiale Strömung mit etwa Wellenlinienverlauf möglich. Sie existiert zusätzlich zur schraubenlinienförmig verlaufenden Strömung. Beide Strömungen können durch Wahl des lichten Abstandes  $a$  der Hohlfasern einer Lage voneinander, Wahl des Wickelwinkels und Wahl der Ausbildung, beispielsweise der Geometrie, der Hohlfaser beeinflusst und eingestellt werden, auch relativ zueinander. Besonders wichtig ist es, dass sich insgesamt auch eine radiale Durchlässigkeit auf der Permeatseite ergibt, auch diese ist einstellbar. Sie ist auch deshalb wichtig, weil an den Enden eines jeden Moduls ein Verguss erfolgt. Durch die freie Zugänglichkeit jeder einzelnen Hohlfaser in der strukturierten Wicklung ist ein gezielter Verguss mit Ummantelung aller Hohlfasern erreichbar.

Die Erfindung ermöglicht die Bewicklung langer, vorbereiteter Wickelrohre, auch Vorprodukte genannt, die später und nach Verguß an einzelnen, gezielten Stellen im Bereich des Vergusses unterteilt werden können in eine Vielzahl kürzerer Module. Dies ermöglicht eine sehr vorteilhafte Fertigung und Bearbeitung. Verluste bei der Herstellung der Wicklung an den axialen Enden der Wicklung durch Umkehrpunkte usw. haben nun nicht mehr ein so grosses Gewicht wie bei der Herstellung einzelner Module wie bei der direkten Fertigung einzelner Module.

In bevorzugter Weise ist die untere Lage auf ein Rohr aufgebracht, das den gedachten Zylinder dieser Lage bildet. Auf diese Weise hat die Wicklung eine verbesserte mechanische Stabilität. Dabei ist es besonders vorteilhaft, dass dieses Rohr radiale Durchlässe aufweist, die Abgang und Zugang für Permeatstrom, insbesondere Spülluft bilden. Dieser Abgang oder Zugang ist vorzugsweise in Nähe eines axialen Endes des Moduls ausgebildet. Der zugehörige Zugang bzw. Abgang befindet sich dann vorzugsweise in Nähe des anderen axialen Endes und vorzugsweise im Bereich der äussersten Lage. Aufgrund des Abstandes benachbarter Hohlfasern einer Lage und der Abwechslung des Vorzeichens des Wickelwinkels von Lage zu Lage einerseits eine gute axiale Durchdringung des Permeatstroms erreicht, andererseits



wird auch eine gute axiale Strömung des Permeatstroms erzielt. Insgesamt wird eine günstige Strömung, insbesondere Gegenströmung des Permeatvolumenstroms zur Strömung des Fluids in den Hohlfasern erhalten. Die Außenflächen der Hohlfasern werden im wesentlichen unterschiedlos und gleichmäßig umströmt.

In bevorzugter Ausbildung liegt der Wickelwinkel zwischen  $15^\circ$  und  $75^\circ$ , vorzugsweise liegt er zwischen  $20^\circ$  und  $70^\circ$ , insbesondere liegt er im Bereich um  $45^\circ$ . Der Wickelwinkel ist dadurch definiert, in welchem Winkel zur Modulachse die Hohlaser beim Aufwickeln auf den gedachten Zylinder zuläuft. Anders ausgedrückt ist der Wickelwinkel der Winkel einer Tangente an eine schraubenlinienförmig aufgewickelte Hohlfasermembran zur Modulachse. Bei einem Wickelwinkel von  $90^\circ$  würde man Ringe wickeln, bei einem Wickelwinkel von  $0^\circ$  würden die Hohlfasern parallel zur Modulachse auf dem gedachten Zylinder verlaufen. Je grösser der Wickelwinkel ist, umso länger sind die einzelnen Fasern, umso weniger Fasern aber kann man in einer Lage unterbringen. Das umgekehrte gilt für kleine Wickelwinkel. Bei grossen Wickelwinkeln hat man wegen der geringen Anzahl von Hohlfasern pro Lage das Problem, die Abstände zwischen den Hohlfasern in einem gewünschten Bereich zu halten. Ein günstiger Bereich des Abstandes zwischen benachbarten Hohlfasern liegt zwischen 0,2 und 2 mm, insbesondere im Bereich 0,3 bis 1,2 mm. Die Hohlfasern haben dann typischerweise einen Außendurchmesser von etwa 0,6 mm und einen Innendurchmesser von etwa 0,3

mm. Die Hohlfasern sind von Außen- und Innendurchmesser nicht beschränkt, der Außendurchmesser kann z.B. im Bereich 0,1 – 5 mm liegen.

Erfindungsgemäß werden semipermeable Membranen, z.B. Komposithohlfasermembranen (hollow fibers composite) eingesetzt. Die Wicklungstechnik ermöglicht es, dass die Innenquerschnitte über die Länge der Fasern möglichst wenig beeinflusst werden. Die Berührungspunkte zwischen einzelnen Hohlfasern befinden sich nur zwischen benachbarten Lagen, die einzelnen

Hohlfasern einer Lage berühren sich nicht. Die Berührungspunkte nehmen nur einen sehr geringen Anteil der gesamten Außenfläche der Hohlfasermembranen in Anspruch, es wird also nur ein sehr geringer Teil der gesamten Außenfläche für den Zugang von Spülgas ausgeschlossen.

In bevorzugter Weiterbildung ist die äußerste Lage durch einen Mantel abgedeckt, der diese äußerste Lage dicht umschließt und der Mittel für den Zugang oder Abgang von Spülgas aufweist, diese Mittel befinden sich vorzugsweise in Nähe eines axialen Endbereichs des Moduls. Bevorzugt hat sich für diesen Mantel ein sogenannter Schrumpfschlauch erwiesen. Ein Schlauch mit Übermaß wird auf das fertiggestellte Modul aufgeschoben und durch Wärmeeinwirkung so geschrumpft, dass er dicht, aber nicht pressend auf der obersten Lage aufliegt. Die Hohlfasern der obersten Lage werden nicht zusammengedrückt. Durch den Mantel wird erreicht, dass es keinen Kurzschluss für Spülgas an der äußersten Lage vorbei und außerhalb der äußersten Lage gibt. Gleiches bewirkt das Rohr, auf das die innerste Lage gewickelt ist, im Hinblick auf eine sonst mögliche direkte Passage von Spülgas unterhalb der ersten Lage.

Bevorzugt werden mehrere Hohlfasern parallel zueinander aufgewickelt, beispielsweise drei, fünf Fasern oder mehrere, wie ansich aus US 5,702,601 A bekannt ist. Dabei darf die Gesamtzahl n der Fasern, die eine Lage aufnehmen kann, nicht überschritten werden.

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den übrigen Ansprüchen sowie der nun folgenden Erläuterung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die nicht einschränkend zu verstehen sind und die unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert werden. In dieser Zeichnung zeigen:

Fig. 1: eine perspektivische Darstellung eines Trocknermoduls,

- Fig. 2: ein Schnittbild durch einen kompletten Filter mit einem Modul entsprechend der Erfindung, das hier nur prinzipiell dargestellt ist,
- Fig. 3: eine Seitenansicht eines Trocknermoduls mit einem Wickelkern und drei Lagen, die Lagen sind einzeln angeschnitten, um den Aufbau besser erkennen zu können,
- Fig. 4: eine prinzipielle Darstellung in Seitenansicht eines Wickelkerns mit aufgebrachter erster Hohlfaser einer ersten Lage zur Erläuterung des Wickelvorgangs,
- Fig. 5: eine Darstellung wie Figur 3, jedoch nunmehr mit Aufbringen der zweiten Hohlfaser,
- Fig. 6: eine Darstellung wie Figur 3, jedoch nunmehr nach Wickeln der dritten Hohlfaser,
- Fig. 7: eine Darstellung wie Figur 3, jedoch bei gleichzeitiger Aufwicklung zweier Hohlfasern in einem Arbeitsschritt,
- Fig. 8: ein Teilstück aus Figur 6, also eines Zwischenzustandes beim Erstellen der gesamten Wicklung,
- Fig. 9: eine schnittbildliche Darstellung einer Stirnansicht des Zwischenzustandes nach Figur 8,
- Fig. 10: ein Schnittbild wie Figur 9, jedoch nunmehr mit vollständiger Belegung der ersten Lage und Hohlfasern einer zweiten und einer dritten Lage,
- Fig. 11: das in Figur 8 durch einen Kreis markierte Teilstück in vergrößerter Darstellung,

- Fig. 12: ein Schnittbild entlang der Schnittlinie XII-XII in Figur 8,
- Fig. 13: eine Stirnansicht auf ein Modul während der Herstellung und auf einen Teil einer Wickelvorrichtung zur Erläuterung des Aufwickelvorgangs
- Fig. 14: eine Draufsicht auf die Anordnung gemäß Figur 13,
- Fig. 15: ein Schnittbild durch einen Teilbereich einer Wicklung, dieses Schnittbild wird in etwa erhalten, wenn man der Schnittlinie XV-XV in Figur 3 folgt, jedoch für einen Wickelwinkel von etwa  $45^\circ$  und
- Fig. 16: eine Seitenansicht eines Teilstücks eines Vorproduktes für eine Vielzahl von Modulen.

Das Hohlfaser-Modul wird im Folgenden beispielhaft für ein Hohlfaser-Trocknermodul erläutert, die folgenden Ausführungen gelten aber auch ganz allgemein für beliebige Hohlfasermodule.

Das Hohlfaser-Trocknermodul hat einen Einlass 20 für zu trocknendes Gas und einen Auslass 22 für getrocknetes Gas. Beide befinden sich an axialen Endbereichen. In diesen axialen Endbereichen sind nur die Faserinnenräume frei zugänglich, die Aussenmäntel der Fasern sind durch einen Kunststoff umgossen, ohne dass axial die Zwischenräume zwischen Hohlfasern zugänglich wären. Entsprechende Kunststoffringe 24 sind dargestellt.

Spülgas wird dem Modul radial zugeführt, hierzu hat es einen Zugang 26 und einen Abgang 28 für Spülgas. Das Modul hat eine Modulachse 30. Schliesslich hat das in Figur 1 gezeigte Modul noch einen Wickelkern in Form eines Rohres 32 und einen Aussenmantel 34 in Form eines wär-

meschrumpfbaren Schlauches, der so kurz ist, dass zwischen dem wärmeschrumpfbaren Schlauch und dem Kunststoffring 24 ein unbedeckter Bereich bleibt, siehe Fig. 1, durch den die Abgänge 28 realisiert sind. Der Zugang 26 wird wie folgt gebildet: Am Innenmantel des Moduls hat das Rohr 32 eine Nut 27. Sie befindet sich in Nähe des zugehörigen Kunststoffrings 24 auf der Außenseite des Rohrs 32. Weiterhin ist mindestens eine axiale Bohrung 29 von der Stirnseite des Rohrs 32 in dieses hinein ausgeführt, diese axiale Bohrung 29 trifft die Nut 27. Es können mehrere axiale Bohrungen 29 vorgesehen sein. Ihre Anzahl und/oder ihr lichter Durchmesser wird so gewählt, dass die gewünschte Menge an Spülluft passieren kann. Es kann auch der axialen Bohrung 29 ein regelbares Ventil vorgeschaltet werden. Die mindestens eine axiale Bohrung 29 zusammen mit der Nut 27 bildet den Zugang 26.

Figur 2 zeigt das in einen Filter eingebaute Modul, allerdings in vereinfachter Darstellung, nämlich mit geradlinig durchlaufenden Hohlfasern. Das Filtergehäuse selbst ist bekannt und muss hier nicht näher erläutert werden, verwiesen wird beispielsweise auf das Filtergehäuse nach der PCT/DE 01/02168. Wie sich aus Figur 2 ergibt, strömt die Luft an einem Eingang des Filtergehäuses ein, siehe Pfeile, und erreicht den Einlass 20 des Filtermoduls. Die zu trocknende Luft durchströmt die Hohlfasermembranen und gibt ihre Luftfeuchtigkeit ab. Sie tritt am Auslass 22 wieder aus dem Modul aus und strömt dann innen durch das Rohr 32 zu einem Ausgang des Filtergehäuses. Dabei sind im Rohr 32 Durchlässe vorgesehen, die im Bereich eines Zugangs 26 angeordnet sind. Ein Teil der getrockneten Luft strömt durch die Durchlässe und in Gegenrichtung zur zu trocknenden Luft und tritt im Bereich des Abgangs 28 wieder aus, siehe Pfeil.

Im folgenden wird auf das spezielle Wickelverfahren eingegangen. Ziel des Wickelverfahrens ist es, eine hohlzylindrische Wicklung zu erhalten, die mehrlagig ist. Figur 3 zeigt eine dreilagige Wicklung auf einem Rohr 32. Zum besseren Verständnisses des Aufbaus der Wicklungen sind die einzelnen La-

gen schrittweise weggeschnitten, die komplette dreilagige Wicklung erkennt man nur links in der Figur. Zu erkennen ist, dass die erste Lage 40 in Form eines mehrgängigen Schraubengewindes durch eine Anzahl  $n_1$  von Hohlfasern gebildet wird. Die Hohlfasern sind im Abstand voneinander angeordnet, der Abstand wird mit  $a$  (siehe Figur 8) bezeichnet. Der Abstand  $a$  hat für alle Zwischenräume zwischen den Fasern einer Lage denselben Wert. In einer anderen Lage kann  $a$  einen anderen Wert annehmen, hat aber wiederum für alle Zwischenräume dieser Lage denselben Wert.

Weiterhin ist die Anzahl  $n$  von Hohlfasern pro Lage unterschiedlich. Die Anzahl steigt im Allgemeinen von der ersten zur zweiten usw. zu höheren Lagen an. Die Fasern einer Lage berühren sich nicht. Sie berühren sich aber mit den Fasern einer benachbarten Lage, die kreuzweise zu ihnen verlaufen. Der Wickelwinkel hat für alle Lagen einen konstanten Absolutwert. Der Wickelwinkel  $\alpha$  ändert von Lage zu Lage sein Vorzeichen. So haben die erste und die dritte Lage 42 in Figur 3 den Wickelwinkel plus  $\alpha$ , während die zweite Wicklung den Wickelwinkel minus  $\alpha$  aufweist. Somit hat die erste Lage 40, die durch den zylindrischen Aussenmantel des Rohres 32 nach innen hin begrenzt ist,  $n_1$  Hohlfasern mit dem lichten Abstand  $a_1$  zwischen diesen Hohlfasern und dem Steigungswinkel plus  $\alpha$ . Die zweite Lage 42 hat  $n_2$  Hohlfasern mit dem lichten Abstand  $a_2$  und dem Steigungswinkel minus  $\alpha$ . Für die dritte Lage gilt  $n_3$  Hohlfasern im lichten Abstand  $a_3$ , Steigungswinkel plus  $\alpha$ . Entsprechendes gilt für die höheren Lagen. Die zweite 42 Lage wird durch einen gedachten Zylinder begrenzt, der einen Durchmesser hat, der um  $2d$  grösser ist als der Durchmesser des Rohres 32, wobei  $d$  der Aussendurchmesser der Hohlfasern ist. Der Aussendurchmesser des gedachten Zylinders für die dritte Lage hat den Durchmesser des Rohres 32 zuzüglich  $4d$ .

In Figur 4 erkennt man, dass pro Lage schraubenlinienförmig umlaufende Kanäle 38 zwischen den einzelnen Hohlfasern freibleiben. Diese erkennt man beispielsweise auch bei der zweiten Lage 42 und erkennt zugleich die darun-

ter befindlichen, kreuzenden, teilweise überdeckten schraubenlinienförmigen Kanäle 38 der ersten Lage 40. Somit stehen die schraubenlinienförmigen Kanäle 38 benachbarter Lagen miteinander in Verbindung. Zusätzlich zur schraubenlinienförmigen Strömung innerhalb einer Lage findet eine mehr oder weniger axiale Strömung mit etwa Wellenlinienverlauf durch Ausnutzen der sich kreuzenden schraubenlinienförmigen Kanäle 38 benachbarter Lagen statt.

Der Ablauf des Aufbringens der Hohlfasern auf einen Wickelkern in Form des Rohres 32 ergibt sich aus den Figuren 4-6. In einer Wickelmaschine, die ansich bekannt ist, sodass auf ihre Darstellung hier verzichtet werden kann, wird das Rohr 32 eingespannt und um seine Achse, also die Modulachse 30, gedreht, siehe Drehpfeile. Zugleich wird eine endlose Hohlaser im Wickelwinkel  $\alpha$  zugeführt und aufgelegt, auf diese Weise wird eine erste Hohlaser 54 auf den Wickelkern aufgebracht, das Ergebnis zeigt Figur 4.

An den beiden axialen Enden des Wickelkerns sind Stifte 48 oder ähnliche Haltevorrichtungen vorgesehen, die zusammen mit dem Wickelkern umlaufen. Um einen dieser Stifte 48 wird die endlose Hohlaser herumgeführt und festgelegt, bevor das Wickeln der zweiten Hohlaser 56 beginnt.

Wie aus dem vorangegangenen ersichtlich ist, erfolgt das Wickeln zwar mit einer endlosen Hohlaser, die Beschreibung des Moduls erfolgt aber für den Zustand, in dem das Modul fertig ist, wie in Figur 1 gezeigt. In diesem Zustand ist aus der einen endlosen Hohlaser, die die Wicklung erstellt, eine Vielzahl einzelner Hohlfasern erhalten worden. Dies geschieht durch Abschneiden der überschüssigen Bereiche der Hohlfasern an den axialen Enden des Wickelkerns. Erst durch dieses Abschneiden wird der Innenraum der einzelnen Hohlfasern an den axialen Enden zugänglich, werden also Einlass 20 und Auslass 22 gebildet. Hierauf wird später noch eingegangen.

Figur 5 zeigt, wie die zweite Hohlaser 56 der ersten Lage 40 aufgebracht

wird, hierzu wird die Drehrichtung der Wickelmaschine geändert, die zweite Hohlfaser 56 wird im lichten Abstand  $a$  neben die bereits aufgebrachte erste Hohlfaser 54 aufgelegt.

Um die dritte Hohlfaser 58 aufzubringen, siehe Figur 6, wird zunächst wieder ein Fixpunkt umgriffen, nämlich ein Stift 48, aber diesmal am anderen axialen Ende. Anschliessend wird die dritte Hohlfaser 58 aufgebracht. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis die erste Lage 40 vollständig gefüllt ist. Anschliessend wird die zweite Lage 42 aufgebracht. Durch Aufbringen der einzelnen Lagen erhält die Wicklung nach und nach Stabilität. Insbesondere erhält die Wicklung durch Aufbringen der Kunststoffringe 24 an ihren axialen Enden eine mechanische Festigkeit.

Es ist möglich, zwei endlose Hohlfasern gleichzeitig aufzuwickeln, wie Figur 7 zeigt. Es ist auch möglich, weitere Hohlfasern gleichzeitig parallel zuzuführen. In der Darstellung nach Figur 7 werden zwei einzelne, endlose Hohlfasern von zwei unterschiedlichen Seiten, also  $180^\circ$  versetzt, dem Wickelkern zugeführt, dadurch kompensieren sich die radialen Komponenten der Zugspannungen der beiden endlosen Hohlfasern, ist also ein Verbiegen des Wickelkerns aus seiner Achse unterbunden.

Im folgenden wird auf die Verteilung der einzelnen Hohlfasern einer Lage innerhalb dieser Lage eingegangen. In Figur 8, die im wesentlichen Figur 6 entspricht, ist der lichte Abstand  $a$  zwischen benachbarten Hohlfasern und der Aussendurchmesser  $d$  der Hohlfasern eingezeichnet. Figur 9 zeigt, wie sich die drei Hohlfasern um den Umfang des Wickelkerns, der hier durch ein Rohr 32 gebildet wird, anordnen. Das Rohr 32 hat dabei den Aussendurchmesser  $D_k$ . Die Länge des Umfanges beträgt damit  $\pi \cdot D_k$ , auf dieser Länge sind  $n_1$  Hohlfasern unterzubringen, die mit dem Wickelwinkel  $\alpha$  aufgebracht werden. In der Schnittebene der Figur 9 und auch an den axialen Enden, also im Bereich des Auslasses 22 und des Einlasses 20 erscheinen die Hohlfasern aufgrund des Wickelwinkels als Ellipsen. In Figur 9 ist der



Abstand  $l$  angegeben, um den eine Hohlaser 58 in der Radialebene in Umfangsrichtung verschoben werden muss, um an den Ort der benachbarten Hohlaser zu gelangen. In der hier betrachteten ersten Lage sind insgesamt  $n_1$  Hohlfasern im lichten Abstand  $a_1$  untergebracht. Es ergibt sich damit folgende Gleichung

$$n_1 \cdot (a_1 + d) = D_k \cdot \pi \cdot \cos \alpha \quad (1).$$

Für eine zweite Lage, die in  $n_2$  Hohlfasern aufnimmt, ist der lichte Abstand zwischen benachbarten Hohlfasern  $a_2$ . Der gedachte Zylinder dieser zweiten Lage hat den Durchmesser  $D_k + 2d$ . Es ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$n_2 \cdot (a_2 + d) = (D_k + 2d) \pi \cdot \cos \alpha \quad (2).$$

Entsprechendes gilt für die weiteren Wicklungen. Der lichte Abstand  $a$  zwischen benachbarten Hohlfasern sollte für die einzelnen Wicklungen möglichst gleich sein, er soll vorzugsweise weniger als 30 %, insbesondere weniger als 20 % und vorzugsweise weniger als 10 % von Lage zu Lage variieren. Es ist möglich, mit einem konstanten lichten Abstand  $a$  für alle Lagen zu arbeiten, wenn man folgenden Zusammenhang einhält:

$$n_2 - n_1 = 2d \pi \cos \alpha : (a + d) \quad (3).$$

Diese Gleichung (3) ist dadurch erhalten worden, dass in den Gleichungen (1) und (2) für  $a_1$  bzw.  $a_2$  gesetzt wurde  $a$  und Gleichung (2) von Gleichung (1) abgezogen wurde. Selbstverständlich sind  $n_1$ ,  $n_2$  usw. natürliche Zahlen, somit ist die Differenz der Anzahl der Hohlfasern  $n_2 - n_1$  der zweiten Lage von der ersten Lage auch eine natürliche Zahl, beispielsweise 1 oder 2.

Durch Wahl des Wickelwinkels  $\alpha$ , des lichten Abstandes  $a$  und des Ausendurchmessers  $d$  der Hohlfasern lässt sich eine Wicklung erhalten, bei der die lichten Abstände  $a$  aller Lagen gleich sind.

Aus den aufgeführten Gleichungen (1) bis (3) erkennt man, dass bei ausreichend grossen Werten für  $n$ , also Anzahl der Hohlfasern pro Lage und auch für  $D$ , also Durchmesser des gedachten Zylinders der Lage, für den Konstrukteur Raum bleibt zur Festlegung geeigneter lichter Abstände  $a$ .

Figur 9 zeigt die Anordnung der nur drei Hohlfasern nach Figur 8 auf dem Rohr 32, das mit seinem Aussenmantel den gedachten Zylinder 35 der ersten Lage bildet. Eingezeichnet ist noch in Figur 9 eine punktierte Linie mit dem Durchmesser  $D_k + d$ , auf der die Mittelpunkte der Hohlfasern liegen. Eingezeichnet ist weiter ein gedachter Zylinder 36, der die erste Lage abschliesst und den Wickeldurchmesser für die zweite, nicht dargestellte Lage definiert.

Genauer werden diese Verhältnisse noch aus Figur 10 ersichtlich, die einen Schnitt durch ein Modul mit drei Lagen 40, 42, 44 zeigt. Alle Lagen sind vollständig mit Hohlfasern belegt. Die zweite Lage 42 befindet sich unmittelbar auf der ersten Lage 40, sie ist nach innen hin durch den gedachten Zylinder 36 der zweiten Lage begrenzt. Ebenso ist die dritte Lage 44 nach innen hin durch den Zylinder 37 begrenzt. Es ist zusätzlich noch ein Zylinder 39 gezeigt, der eine eventuelle vierte Lage nach innen hin begrenzt. Ist jedoch keine vierte Lage vorgesehen, so würde der Verlauf von 39 den Verlauf eines Aussenmantels 34 im Idealfalle, nämlich ohne Eindellung im Bereich der schraubenförmigen Kanäle 38, angeben.

Darüberhinaus kann gemäss der Erfindung auch der für die Strömung des zu trocknenden Gases und der für die Strömung des Spülgases zur Verfügung stehende Querschnitt angepasst und angeglichen werden. Dies wird unter Zuhilfenahme von Figur 12 erläutert. Wie Figur 12 zeigt, hat man pro einzelner Hohl-faser eine lichte Innenfläche  $A_i$ , die durch das Quadrat des Innenradius mal  $\pi$  bestimmt ist, sowie eine lichte Aussenfläche  $A_a$ , die bestimmt ist durch die Fläche des Rechtecks  $(d + a) \cdot d$  abzüglich des gesamten

Querschnitts einer Hohlfaser, also  $(d/2)^2 \cdot \pi$ . Durch geeignete Wahl von insbesondere  $a$ , aber auch der anderen Parameter können gezielt gewünschte Verhältnisse zwischen der Innenströmung und der Aussenströmung eingestellt werden. Dabei ist noch die Geschwindigkeit der Strömungen zu berücksichtigen. Praktische Bedeutung hat je nach gewünschtem Trocknungsgrad bzw. gewünschter Taupunktabsenkung ein Geschwindigkeitsverhältnis der Strömungsgeschwindigkeit innen zur Strömungsgeschwindigkeit aussen im Bereich von 1-5. Die jeweiligen Volumenströme ergeben sich aus Produkten der Strömungsgeschwindigkeit mal der zur Verfügung stehenden Querschnittsfläche. Üblicherweise arbeitet man mit einem Volumenstrom an Spülluft im Bereich von einigen Prozenten des Volumenstroms an zu trocknender Luft, beispielsweise etwa 12 %. Mit Hilfe dieser Überlegungen kann man ein geeignetes Querschnittsverhältnis  $A_a$  zu  $A_i$  errechnen und dann durch die Parameter  $a$ ,  $d$  und den Wickelwinkel  $\alpha$  sowie zusätzlich  $D$  einstellen.

Nach Fertigstellen der Wicklung aus ihren einzelnen Lagen 40, 42 usw. wird die Wicklung durch Aufbringen von Kunststoffringen 24 an den Enden stabilisiert, dies erfolgt nach dem Stand der Technik. Besonders günstig ist für das Einbringen von Kunststoff in die Zwischenräume zwischen den Hohlfasern die Tatsache, dass die radiale Durchlässigkeit gegeben ist, in bekannter Grösse vorliegt und zudem homogen ist.

Unter Bezugnahme auf die Figuren 13-15 werden nachfolgend Einzelheiten über den Herstellungsvorgang erläutert, also insbesondere das Aufwickeln einer Faser.

Die Figuren 13 und 14 zeigen das Aufbringen einer Hohlfaser 54 auf den Zylinder 35 bzw. das Rohr 32 der ersten Lage 40, die Ausführungen gelten aber ebenso für das Aufbringen der weiteren Lagen 42, 44 usw. In einer Wickelmaschine, die hier nur schematisch dargestellt ist, wird das Rohr 32 um die Modulachse 30 im Sinn des Pfeils gedreht. Die Hohlfaser 54 läuft tangential

und im Wickelwinkel  $\alpha$  auf das Rohr 32 zu. Sie durchläuft ein Faserauge 60, das in beiden Raumrichtungen für eine exakte Führung und damit Positionierung der Hohlaser 54 sorgt. Das Faserauge 60 wird in Richtung der Modulachse 30 relativ zum Rohr 32 bzw. der bereits erstellten Teilwicklung bewegt. Die Bewegung erfolgt entsprechend dem Pfeil 62 mit der Geschwindigkeit, die sich aus der gewählten Wicklungsgeometrie, insbesondere Wickelwinkel  $\alpha$  und Durchmesser des Rohrs 32, ergibt.

Dem Faserauge 60 wird die Hohlaser 54 von einem Vorrat, der hier nicht dargestellt ist, zugeführt. Dies ist durch den Pfeil 64 symbolisiert. Bevor die Hohlaser 54 das Faserauge 40 erreicht, läuft sie über eine erste Umlenkrolle 66, von der aus sie nach unten abgelenkt wird und zu einem Tänzer 68 gelangt, von dort steigt sie wieder an zu einer zweiten Umlenkrolle 70, die insbesondere baugleich ist mit der ersten Umlenkrolle und etwa auf der gleichen vertikalen Höhe wie diese angeordnet ist.

Der Tänzer 68 hat ein vorgegebenes Gewicht. Dadurch herrscht in dem zulaufenden und ablaufenden Teil der Hohlaser 54 links und rechts des Tänzers 68 in Figur 13 eine mechanische Zugkraft in der Hohlaser. Der Tänzer 68 gleicht weiterhin in bekannter Weise Schwankungen in der Zufuhr der Hohlaser vom Vorrat aus. Er sorgt für eine konstante Spannung in der Faser.

Typischerweise hat der Tänzer ein Gewicht zwischen 10 und 200 g, beispielsweise 100 g. Damit beträgt die Spannung im Faden zwischen Tänzer 68 und Rohr 32 etwa 50 g.

Die mechanische Spannung in der Hohlaser 54 führt zu einer geringen Dehnung der Hohlaser, mit dieser Dehnung wird die Hohlaser 54 auf das Rohr 32 aufgewickelt. Dadurch kommt es zu einer reibschlüssigen Auflage der Hohlaser 54 auf dem Rohr 32 bzw. bei der zweiten Lage 42 auf den Fasern der ersten Lage 40 und bei der dritten Lage 44 auf den Fasern der zwei-

ten Lage 42 usw.

Aufgrund der Spannung bzw. Dehnung wird eine stabile Wicklung erreicht. Die einzelnen Hohlfasern 54, 56, 58 können nur mit einer gewissen Kraft in Richtung der Modulachse 30 verschoben werden, also aus ihrer idealen Schraubenlinie, die ihnen bei der Wicklung mitgegeben wurde, herausgedrückt werden. Aufgrund der Dehnung führt ein bewusstes oder ungewolltes Auslenken einer Faser zu einem Rückstellen, wenn die auslenkende Kraft wegfällt.

Die Spannung in den Hohlfasern soll so groß gewählt werden, dass eine stabile Wicklung erreicht wird. Wie zu erkennen ist, liegen die Wickelwinkel in einem Bereich, dass zwischen Einlass 20 und Auslass 22 jede Faser mindestens eine Windung durchführt, also um mindestens  $360^\circ$  das Rohr 32 umschlingt. Bei diesen Voraussetzungen ist ein ausreichender reibschlüssiger Halt der einzelnen Fasern auf dem Rohr 20 bzw. der darunter befindlichen Lage wichtig, um eine stabile Wicklung zu erzielen. Es wird auch eine Verformung erhalten.

Nun darf aber die Spannung in den einzelnen Hohlfasern nicht so hoch getrieben werden, dass die Hohlfasern ihre Querschnittsform merklich ändern. Das Gewicht des Tänzers 68 wird in Abstimmung mit den physikalischen Eigenschaften der Faser 54 so gewählt, dass eine tolerierbare Verformung der Hohlfasern eintritt.

Figur 15 zeigt kleine Ausschnitte aus drei aufeinanderfolgenden Lagen 40, 42 und 44. Der Wickelwinkel beträgt  $45^\circ$ , so dass die Hohlfasern 54, 56 und 58 sich im Winkel von  $90^\circ$  kreuzen. Man erkennt, dass die Hohlfasern 56 der zweiten Lage 42 an den Berührungspunkten mit den Hohlfasern 54 der ersten Lage 40 und den Hohlfasern 58 der dritten Lage 44 sich etwas deformieren, die Deformationsbereiche sind mit 72 gekennzeichnet. In den Deformationsbereichen 72 weicht die Querschnittsform, der idealen Kreisform ab.

Eine Deformation ermöglicht einerseits notwendig, um eine stabile Wicklung zu erreichen, andererseits hat sie aber den Nachteil, dass lokale Stellen geschaffen werden, die einen etwas geringeren freien Querschnitt haben als außerhalb der Deformationsbereiche. Die Deformationsbereiche 72 werden nur so groß gewählt, dass sie eine Positionierung der Hohlfasern gegeneinander bewirken, aber die Querschnittsänderung gering bleibt, insbesondere unter 10 %, vorzugsweise unter 5 % und insbesondere unter 2 %.

Eine besonders günstige Ausführungsform der Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf Figur 16 erläutert. Es wird nicht mehr auf einen Wickelkern 32 eine Wicklung für ein einziges Modul aufgebracht, vielmehr wird eine relativ lange Wicklung erstellt, die in ihrer axialen Länge ausreicht für eine Vielzahl einzelner Module. Während die einzelnen Module eine Länge von beispielsweise 10-40 cm haben, ist es durchaus möglich, relativ lange, beispielsweise 4 m lange Wicklungen herzustellen. Diese werden genauso ausgeführt, wie dies für eine Wicklung eines einzigen Moduls obenstehend beschrieben wurden. Das fertiggestellte Vorprodukt 50 wird dann in gewünschten Abständen mit Vergussmasse bzw. Kunststoffringen 24 umspritzt, wie dies in Figur 12 bereits eingezeichnet ist. Die Kunststoffringe 24 werden in ihrem Mittelbereich durchtrennt, siehe Trennebene 52, damit wird zugleich Einlass 20 und Auslass 22 geschaffen und werden die einzelnen Module erhalten. Es ist auch möglich, anstelle der Kunststoffringe 24 mechanische Klammern oder dergleichen zu verwenden.

Bei der Ausführung gemäß Figur 16 kommt es auf die Art, in der die Wicklung hergestellt ist, nicht an. Die Wicklung selbst ist also beliebig. Sie muss nicht nach dem Patentanspruch 1 ausgeführt sein. Irgendeine Form einer Ordnung der Hohlfasern ist ausreichend, um entsprechend dem Vorschlag, zunächst ein relativ langes Vorprodukt 50 herzustellen, zu erarbeiten, das dann später in einzelne Modulteile zerteilt wird. Die Kunststoffringe werden durch Einspritzen eines Kunststoffmaterials oder eines anderen geeigneten Materials erhalten.

**Bezeichnung: Hohlfaser-Modul**

## **Patentansprüche**

1. Hohlfaser-Fluid-Separationsmodul mit einem Einlass (20) für einen Zu-  
laufstrom, mit einem Auslass (22) für einen Auslaufstrom, mit einem Zu-  
gang (26) für einen Permeatstrom, mit einem Abgang (28) für den Per-  
meatstrom, mit einer Modulachse (30) und mit einer Vielzahl von Hohlfa-  
sern, die sich jeweils vom Einlass (20) zum Auslass (22) erstrecken und  
einen Faserinnenraum aufweisen, der an einem Ende jeder Hohlfaser mit  
dem Einlass (20) kommuniziert und am anderen Ende jeder Hohlfaser mit  
dem Auslass (22) kommuniziert, wobei die Hohlfasern in mehreren Lagen  
(40, 42, 44) zu einer hohlzylindrischen Wicklung aufgewickelt sind, jede  
Lage (40, 42, 44) nach innen hin durch einen gedachten Zylinder (35, 36,  
37) begrenzt ist, eine Anzahl von schraubenlinienförmig mit einem Stei-  
gungswinkel  $\alpha$  auf diesen Zylinder (35, 36, 37) aufgewickelten Hohl-  
fasern hat, die sich im lichten Abstand  $a$  voneinander befinden und gleich  
verteilt auf dem Zylinder angeordnet sind und sich eine Lage (z. B. 40)  
von einer benachbarten Lage (z. B. 42) dadurch unterscheidet, dass die  
Fasern der einen Lage alle den Wickelwinkel plus  $\alpha$  aufweisen, wäh-  
rend die Fasern der benachbarten Lage alle den Wickelwinkel minus  $\alpha$   
haben, jede Faser den ihr zugehörigen Zylinder mindestens einmal  
um  $360^\circ$  umschlingt und jede Faser beim Wickelvorgang mit einer Zug-  
spannung aufgebracht ist, die so groß bemessen ist, dass sie einen mög-  
lichst guten reibschlüssigen Halt auf den unter ihr befindlichen, kreu-  
zenden Fasern hat und die so klein bemessen ist, dass an den Kreu-  
zungspunkten die Hohlfasern zwar verformt werden, der freie Innenquer-  
schnitt der Hohlfaser aber nicht merklich eingeschränkt wird und alle  
Hohlfasern mit derselben Zugspannung aufgebracht sind.

2. Hohlfaser-Fluid-Separationsmodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich die erste, unterste Lage (40) auf einem Rohr (32) befindet, das den gedachten Zylinder dieser Lage (40) bildet.
3. Hohlfaser-Fluid-Separationsmodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Zugang (26) mindestens eine axiale Bohrung (29) aufweist, die im Rohr (32) ausgebildet ist.
4. Hohlfaser-Fluid-Separationsmodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Wickelwinkel  $\alpha$  zwischen  $15^\circ$  und  $75^\circ$ , vorzugsweise zwischen  $20^\circ$  und  $70^\circ$  und insbesondere im Bereich um  $45^\circ$  liegt.
5. Hohlfaser-Fluid-Separationsmodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand  $a$  zwischen zwei Hohlfasern einer Lage im Bereich zwischen dem Einfachen und dem Zehnfachen des Innenradius der Hohlfasern liegt.
6. Hohlfaser-Fluid-Separationsmodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass alle Hohlfasern gleich lang sind.
7. Hohlfaser-Fluid-Separationsmodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass alle Hohlfasern baugleich sind.
8. Hohlfaser-Fluid-Separationsmodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zugspannung so gewählt ist, dass der freie Innenquerschnitt der Hohlfaser an den Kreuzungspunkten größer als 90%, insbesondere größer als 95 % und vorteilhafterweise größer als 98% des Innenquerschnittes der Hohlfaser außerhalb der Kreuzungspunkte ist.



9. Hohlfaser-Fluid-Separationsmodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die äusserste Lage der Wicklung durch einen Mantel (34) umschlossen ist, der die äusserste Lage dicht umschliesst und der vorzugsweise Mittel für einen Zugang (26) oder Abgang (28) von Permeatstrom, insbesondere Spülgas aufweist.
10. Hohlfaser-Fluid-Separationsmodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Modul aus einem Vorprodukt durch Zerschneiden des Vorproduktes entlang Trennebenen (52) erhalten ist und dass das Vorprodukt eine axial relativ lange Wicklung aufweist und eine axiale Länge hat, die größer ist als die Länge mehrerer Module.

Fig. 1

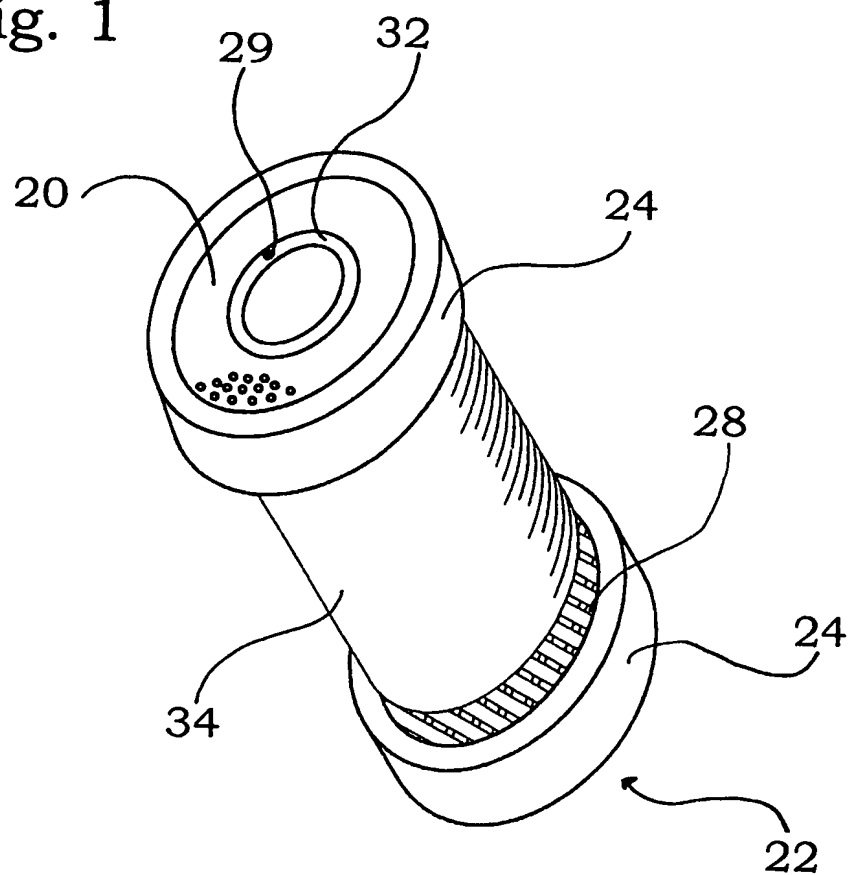
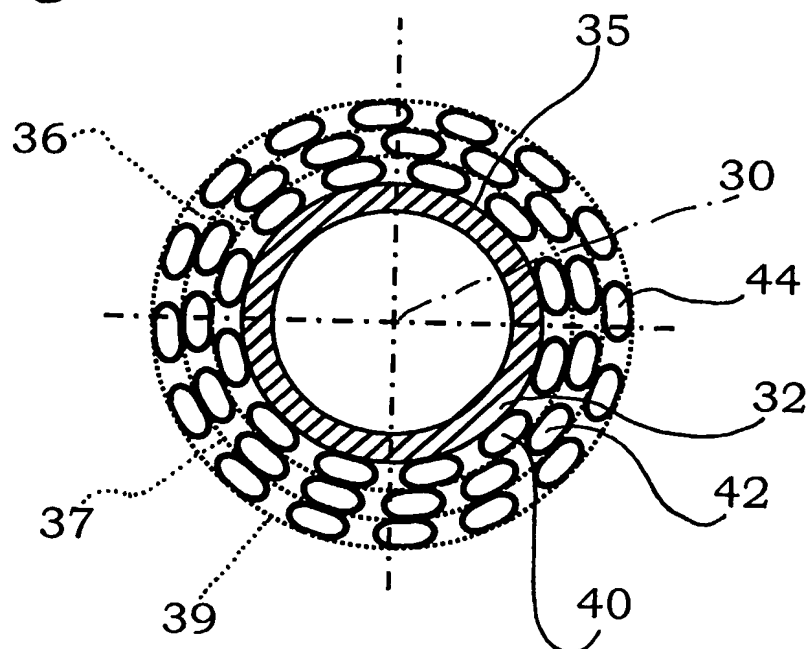
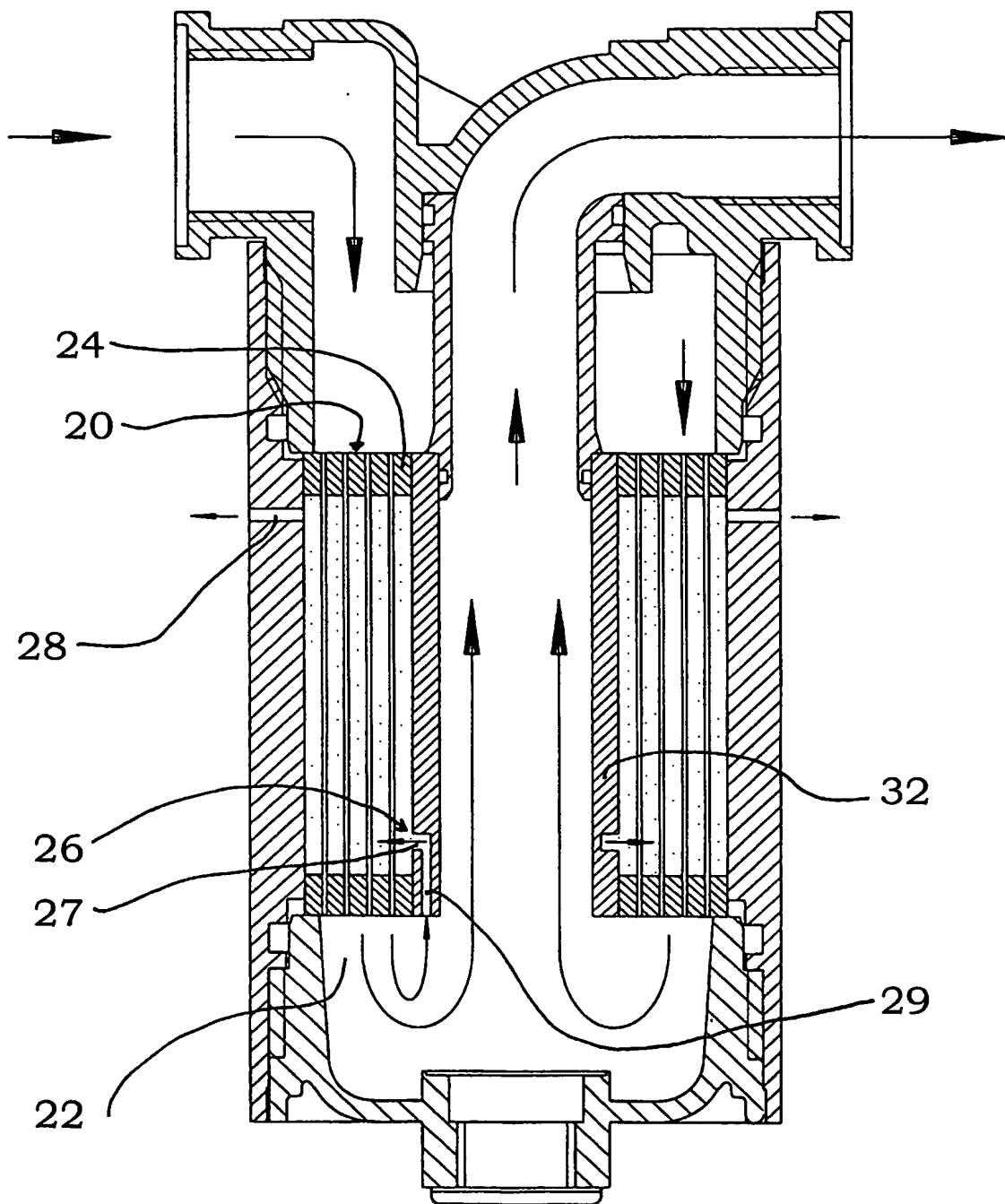


Fig. 10



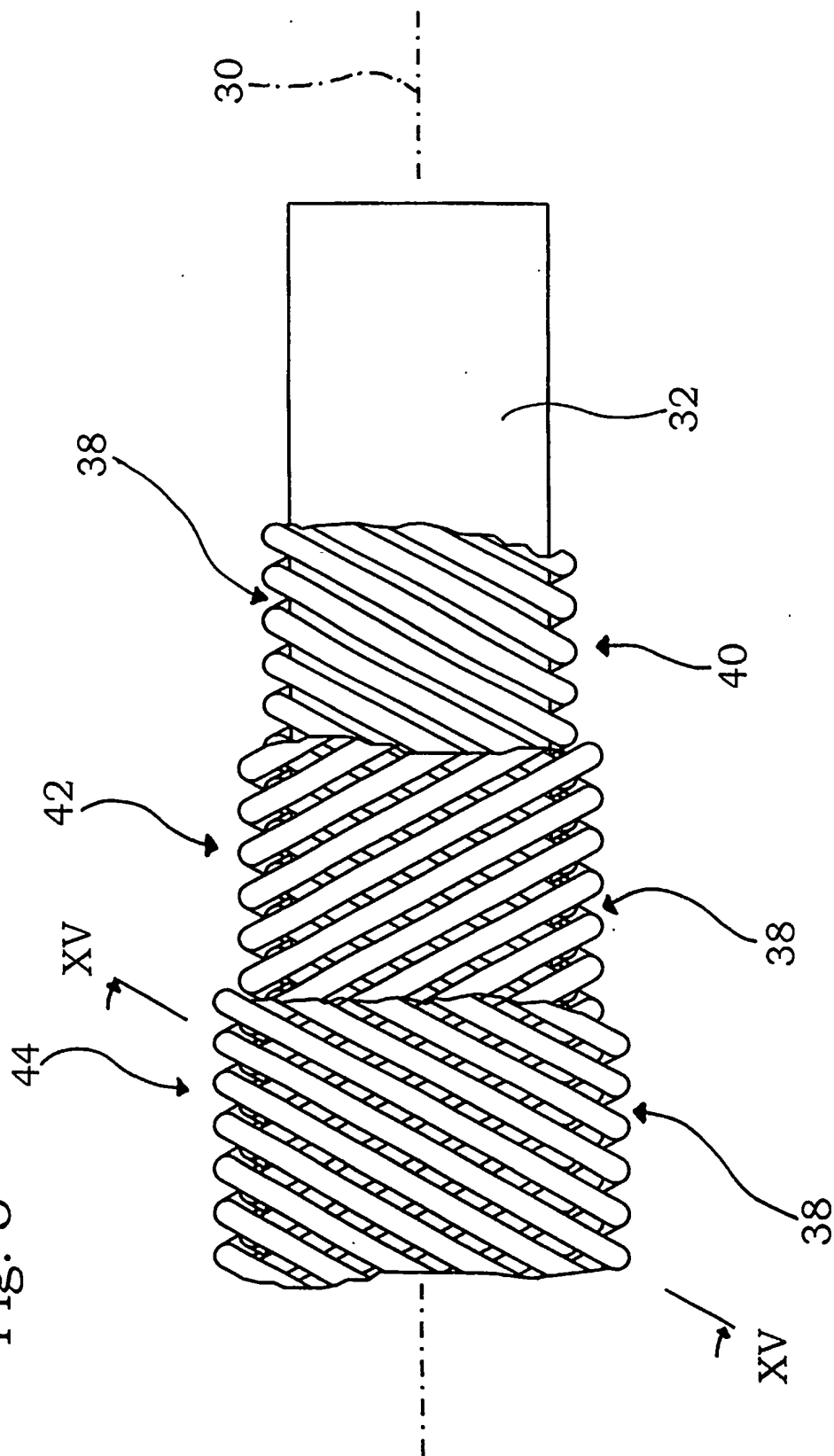
2/9

Fig. 2



3/9

Fig. 3



4/9

Fig. 4

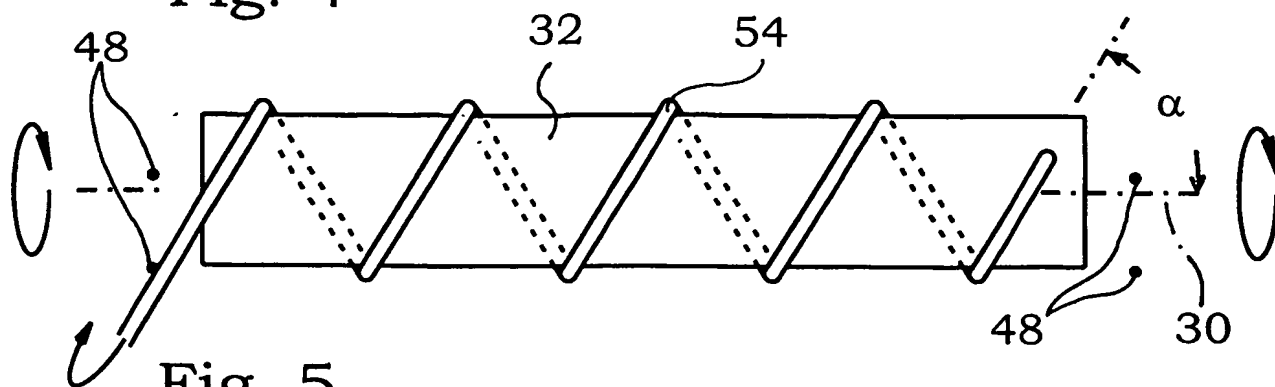


Fig. 5

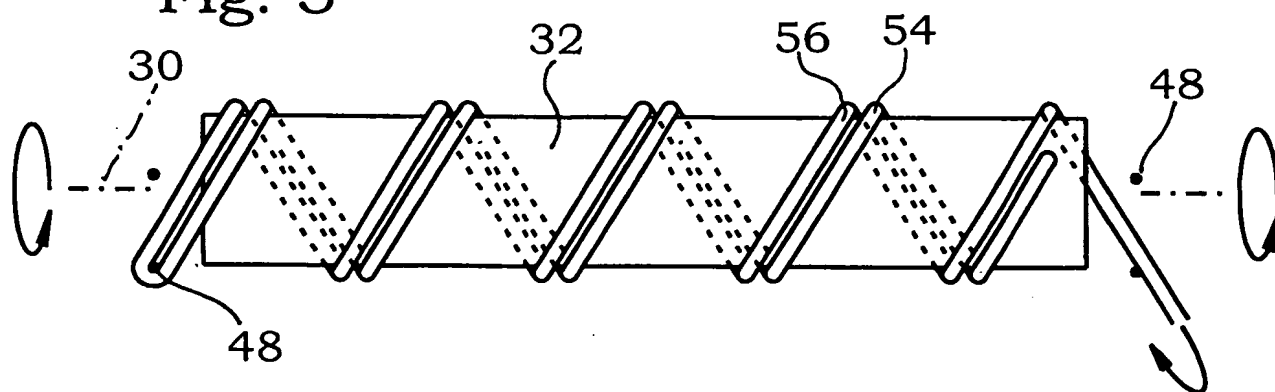


Fig. 6

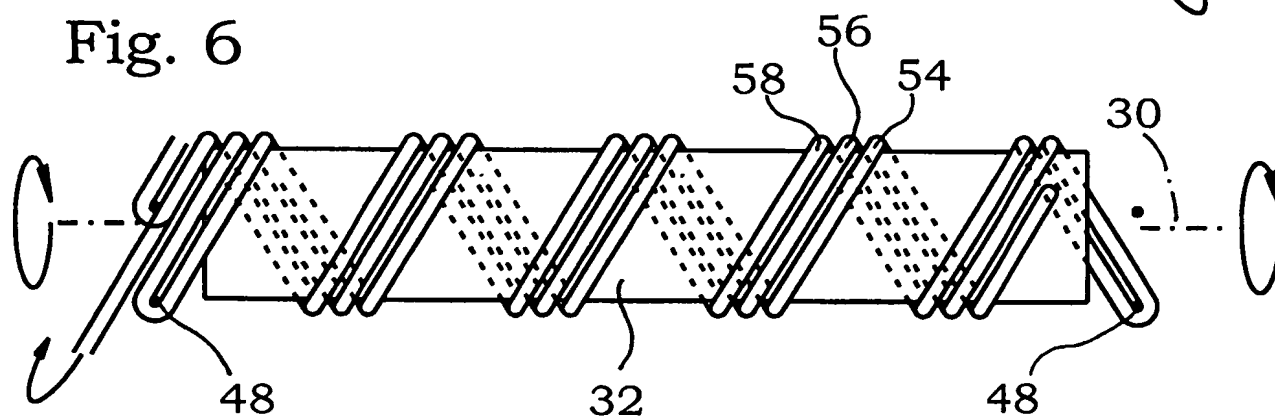
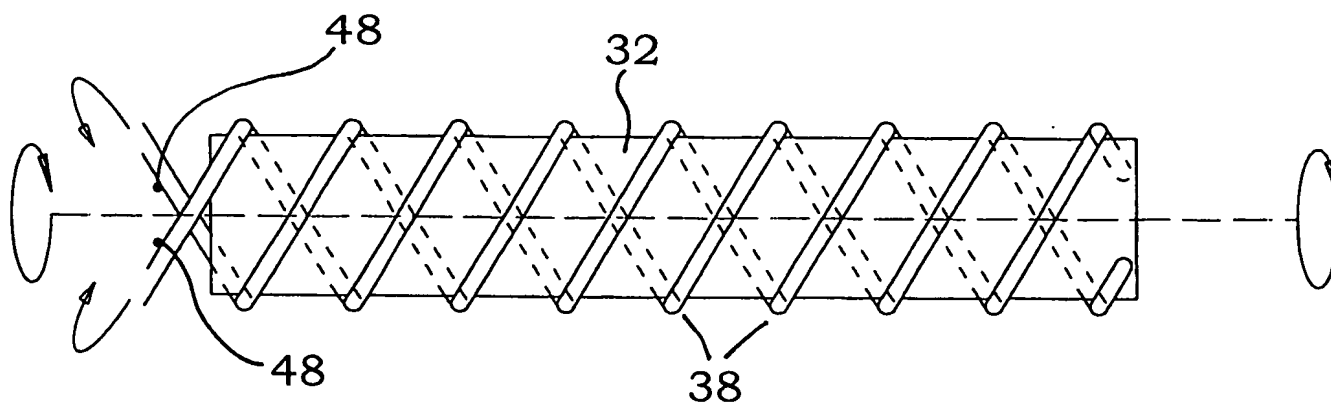


Fig. 7



5/9

Fig. 9

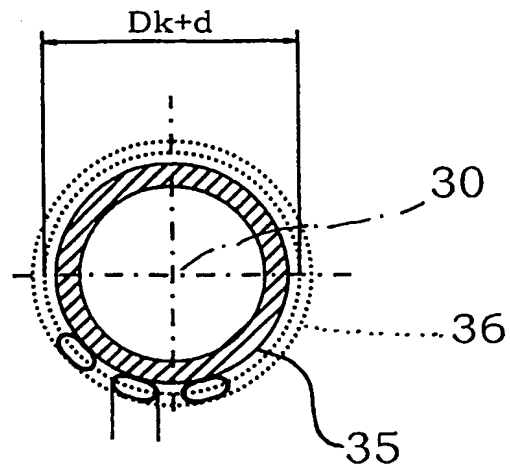


Fig. 8

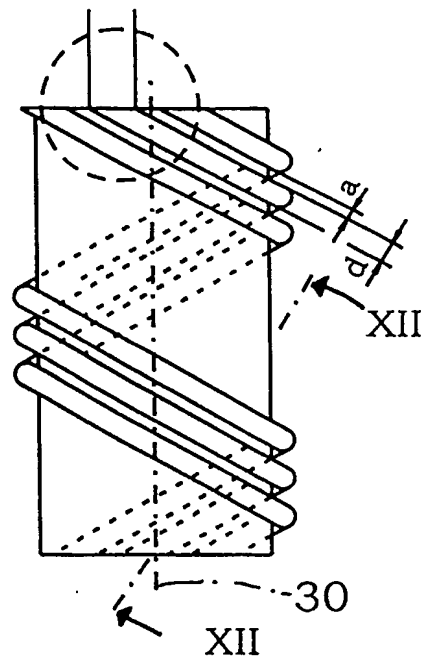
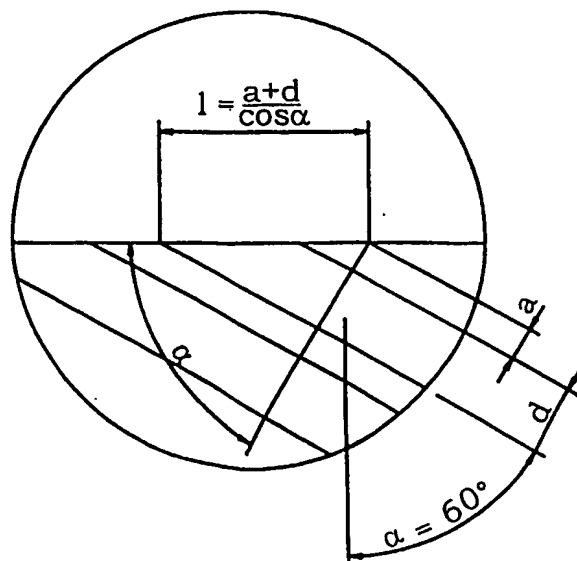
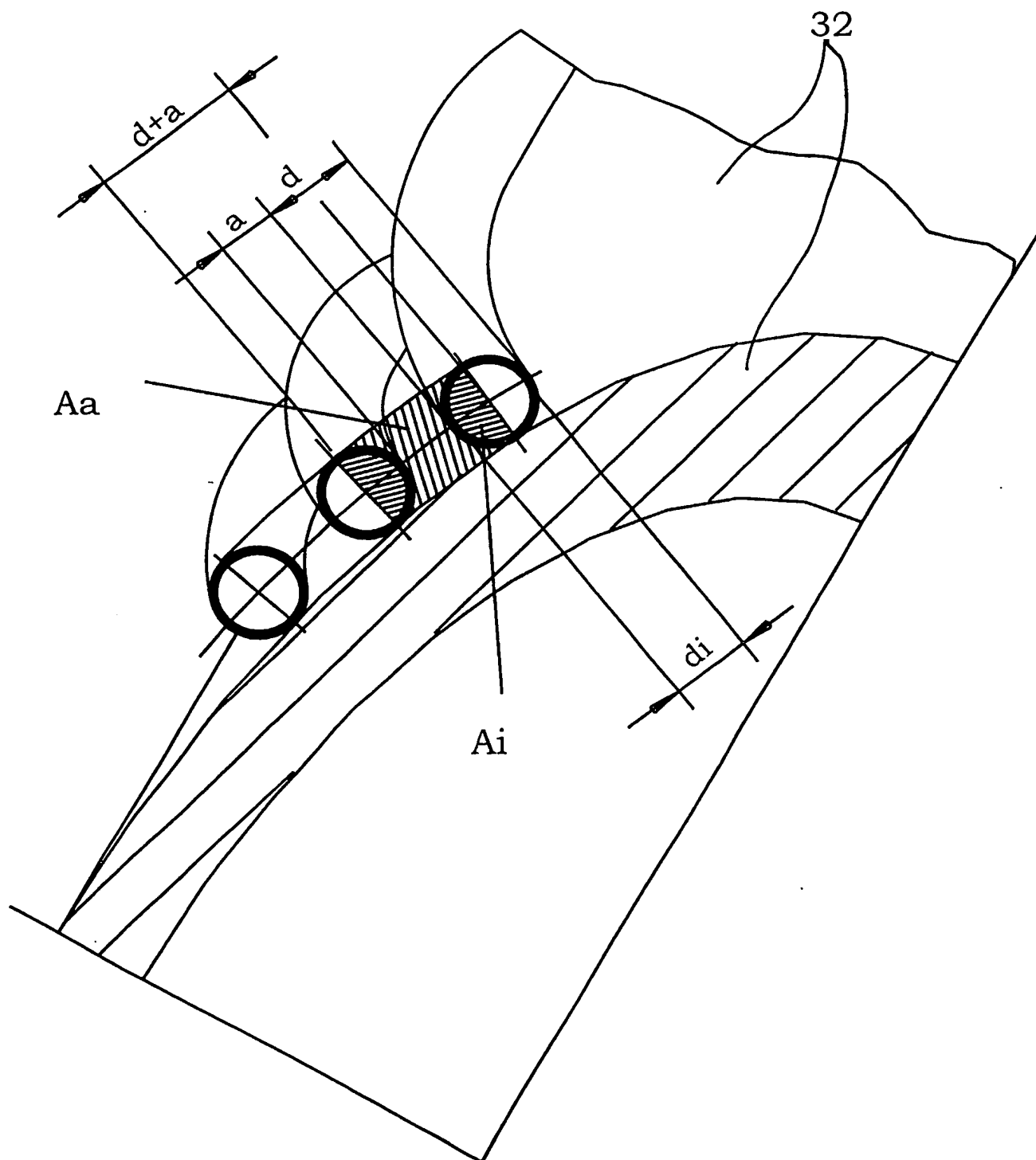


Fig. 11



6/9

Fig. 12



7/9

Fig. 13

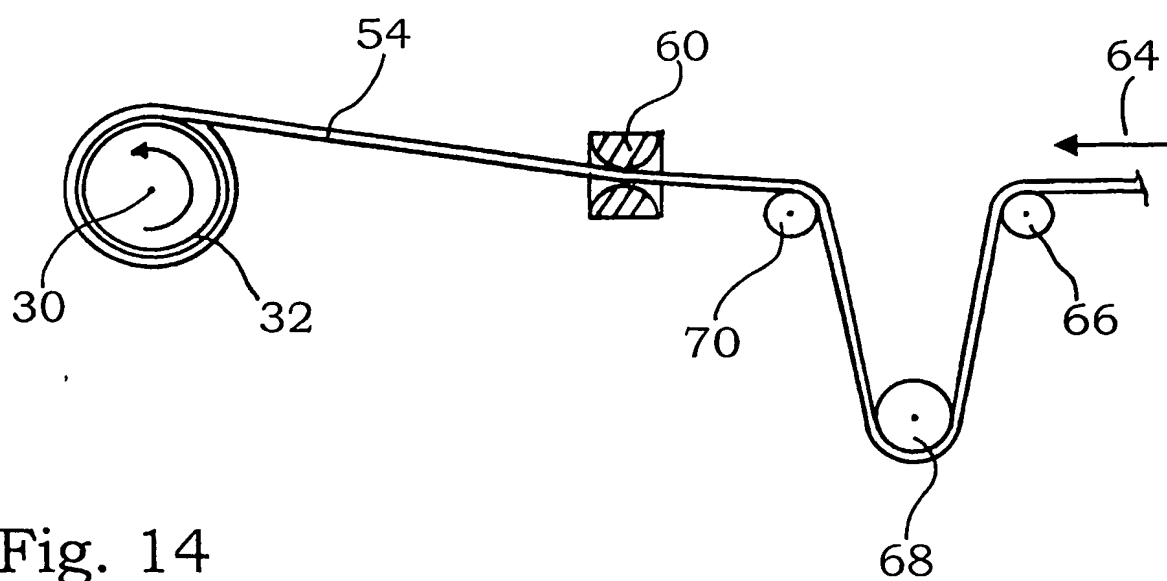
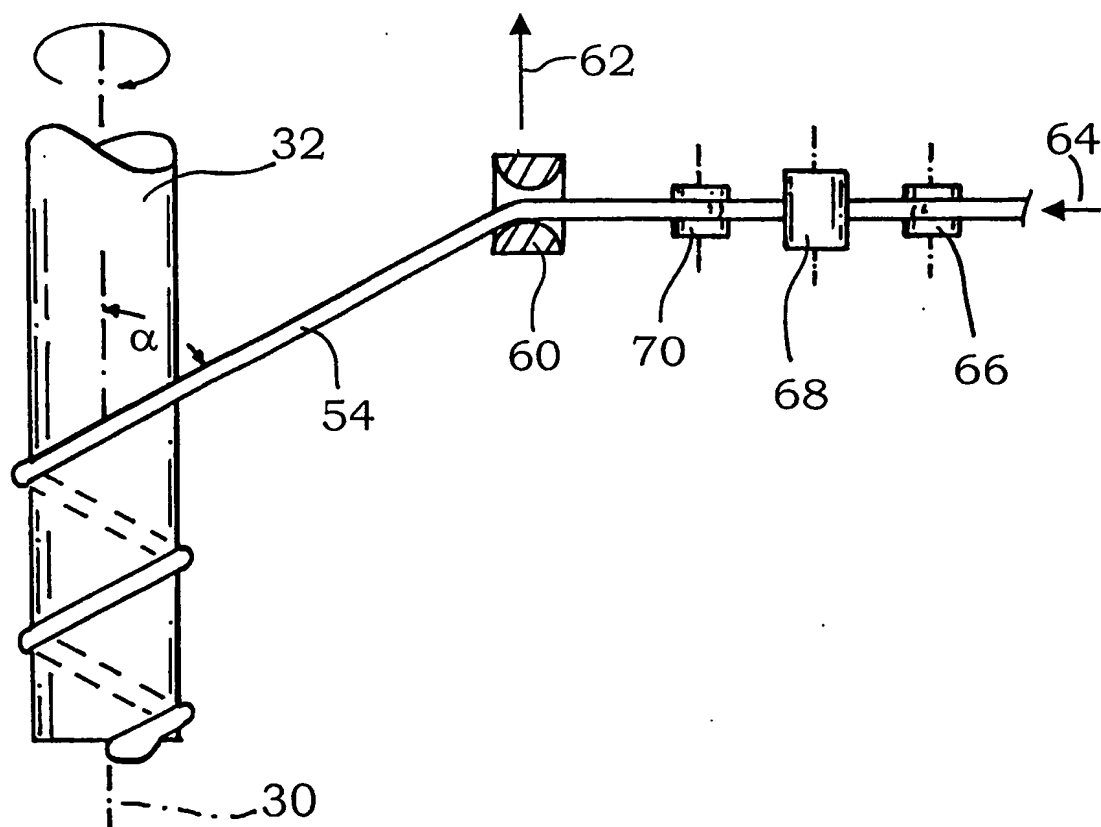


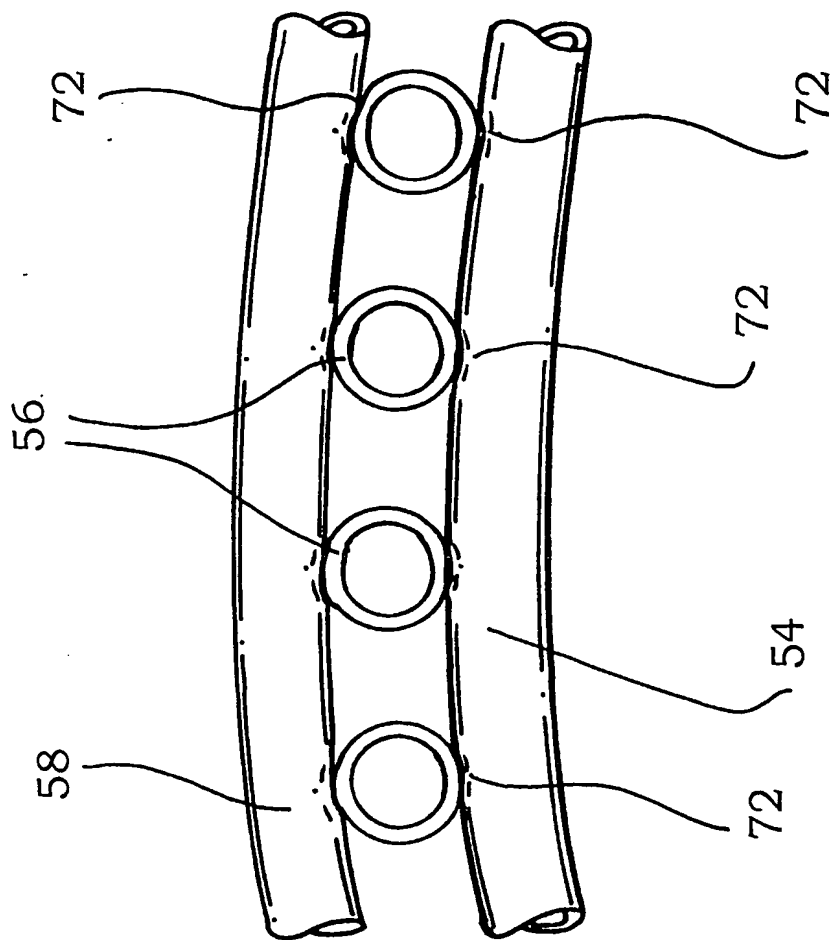
Fig. 14





8/9

Fig. 15



9/9

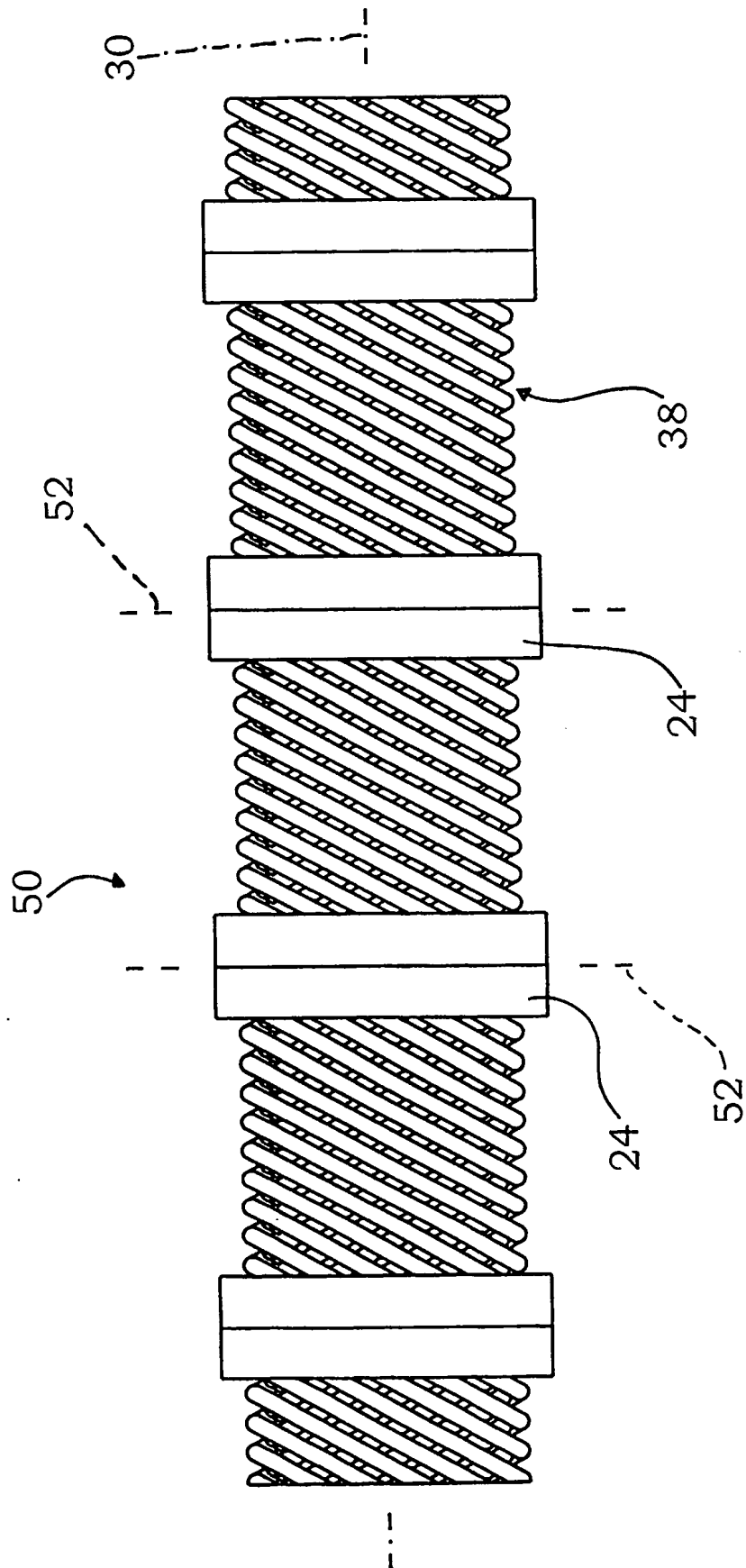


Fig. 16

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/DE 03/03374

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B01D63/02 B01D53/26 B01D53/22

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 3 422 008 A (MCLAIN EARL A) 14 January 1969 (1969-01-14) the whole document ---	1,2,4-10
X	EP 0 669 158 A (PRAXAIR TECHNOLOGY INC) 30 August 1995 (1995-08-30) column 9, line 2 -column 10, line 25; figures 1,2 ---	1,2,6-9
Y	DE 197 16 752 C (GEESTHACHT GKSS FORSCHUNG) 18 June 1998 (1998-06-18) the whole document ---	1,2,4-9
Y	GB 2 047 874 A (AKZO NV) 3 December 1980 (1980-12-03) page 9, line 102 - line 122 page 10, line 124 -page 11, line 1; figures 17,26 --- -/--	1,2,4-9

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 March 2004

Date of mailing of the international search report

18/03/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Marti, P

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/JP 03/03374

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 837 033 A (BIKSON BENJAMIN ET AL) 17 November 1998 (1998-11-17) cited in the application the whole document ----	1-10
A	WO 02 45822 A (POROUS MEDIA CORP) 13 June 2002 (2002-06-13) the whole document ----	1-10
A	US 4 252 765 A (BRUMFIELD ROBERT C) 24 February 1981 (1981-02-24) the whole document -----	1, 10

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 03/03374

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 3422008	A	14-01-1969	BE 723460 A DE 1808876 A1 FR 95320 E	06-05-1969 17-09-1970 15-07-1970
EP 0669158	A	30-08-1995	US 5411662 A BR 9500764 A CN 1109796 A , B DE 69501909 D1 DE 69501909 T2 EP 0669158 A1 JP 7251038 A	02-05-1995 17-10-1995 11-10-1995 07-05-1998 10-09-1998 30-08-1995 03-10-1995
DE 19716752	C	18-06-1998	DE 19716752 C1 AU 7330598 A WO 9846333 A1 EP 0973600 A1	18-06-1998 11-11-1998 22-10-1998 26-01-2000
GB 2047874	A	03-12-1980	DE 2910568 A1 AT 380403 B AT 139180 A BE 882224 A4 CA 1140533 A1 CH 650696 A5 ES 489544 A1 FR 2451952 A2 IT 1143117 B JP 56000308 A JP 60067103 U	25-09-1980 26-05-1986 15-10-1985 01-07-1980 01-02-1983 15-08-1985 16-09-1980 17-10-1980 22-10-1986 06-01-1981 13-05-1985
US 5837033	A	17-11-1998	BR 9701563 A CN 1171290 A EP 0798034 A1	25-08-1998 28-01-1998 01-10-1997
WO 0245822	A	13-06-2002	AU 2020002 A EP 1355718 A1 WO 0245822 A1 US 2002069758 A1	18-06-2002 29-10-2003 13-06-2002 13-06-2002
US 4252765	A	24-02-1981	NONE	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern. Aktenzeichen

PC 03/03374

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
 IPK 7 B01D63/02 B01D53/26 B01D53/22

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B01D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 3 422 008 A (MCLAIN EARL A) 14. Januar 1969 (1969-01-14) das ganze Dokument ---	1,2,4-10
X	EP 0 669 158 A (PRAXAIR TECHNOLOGY INC) 30. August 1995 (1995-08-30) Spalte 9, Zeile 2 - Spalte 10, Zeile 25; Abbildungen 1,2 ---	1,2,6-9
Y	DE 197 16 752 C (GEESTHACHT GKSS FORSCHUNG) 18. Juni 1998 (1998-06-18) das ganze Dokument ---	1,2,4-9
Y	GB 2 047 874 A (AKZO NV) 3. Dezember 1980 (1980-12-03) Seite 9, Zeile 102 - Zeile 122 Seite 10, Zeile 124 - Seite 11, Zeile 1; Abbildungen 17,26 --- -/--	1,2,4-9

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

10. März 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

18/03/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Marti, P

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PC 03/03374

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 837 033 A (BIKSON BENJAMIN ET AL) 17. November 1998 (1998-11-17) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument ----	1-10
A	WO 02 45822 A (POROUS MEDIA CORP) 13. Juni 2002 (2002-06-13) das ganze Dokument ----	1-10
A	US 4 252 765 A (BRUMFIELD ROBERT C) 24. Februar 1981 (1981-02-24) das ganze Dokument -----	1,10

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die derselben Patentfamilie gehören

Internationale Patentzeichen

PC 03/03374

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3422008	A	14-01-1969	BE 723460 A DE 1808876 A1 FR 95320 E	06-05-1969 17-09-1970 15-07-1970
EP 0669158	A	30-08-1995	US 5411662 A BR 9500764 A CN 1109796 A , B DE 69501909 D1 DE 69501909 T2 EP 0669158 A1 JP 7251038 A	02-05-1995 17-10-1995 11-10-1995 07-05-1998 10-09-1998 30-08-1995 03-10-1995
DE 19716752	C	18-06-1998	DE 19716752 C1 AU 7330598 A WO 9846333 A1 EP 0973600 A1	18-06-1998 11-11-1998 22-10-1998 26-01-2000
GB 2047874	A	03-12-1980	DE 2910568 A1 AT 380403 B AT 139180 A BE 882224 A4 CA 1140533 A1 CH 650696 A5 ES 489544 A1 FR 2451952 A2 IT 1143117 B JP 56000308 A JP 60067103 U	25-09-1980 26-05-1986 15-10-1985 01-07-1980 01-02-1983 15-08-1985 16-09-1980 17-10-1980 22-10-1986 06-01-1981 13-05-1985
US 5837033	A	17-11-1998	BR 9701563 A CN 1171290 A EP 0798034 A1	25-08-1998 28-01-1998 01-10-1997
WO 0245822	A	13-06-2002	AU 2020002 A EP 1355718 A1 WO 0245822 A1 US 2002069758 A1	18-06-2002 29-10-2003 13-06-2002 13-06-2002
US 4252765	A	24-02-1981	KEINE	